



- 中国水利教育协会
- 高等学校水利类专业教学指导委员会 共同组织编审
- 中国水利水电出版社

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
全国水利行业“十三五”规划教材

水工建筑物

（第二版）

沈长松 刘晓青 王润英 张继勋 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

- 中国水利教育协会
 - 高等学校水利类专业教学指导委员会
 - 中国水利水电出版社
- 共同组织编审

江苏高校品牌专业建设工程资助项目 (PPZY2015A043)



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
全国水利行业“十三五”规划教材

水工建筑物

(第二版)

沈长松 刘晓青 王润英 张继勋 编著



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材和全国水利行业“十三五”规划教材，是水利水电工程专业主要专业课“水工建筑物”课程教学用书，全书共16章，包括：总论、水工结构上的作用、水工建筑物的水力设计、岩基上的重力坝、拱坝及支墩坝、土石坝、坝工技术及坝型发展、河岸溢洪道、水工隧洞、土基上的闸坝、水工闸（阀）门、过坝建筑物、渠首和渠系建筑物、水利枢纽设计阶段划分及其布置、水工建筑物的运行管理及安全监控、水工建筑物现代设计理论与方法。每章附有复习思考题。

本书可作为水利类专业及其他相关专业师生教学参考书，也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

水工建筑物 / 沈长松等编著. — 2版. — 北京：
中国水利水电出版社，2016.9
“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材. 全国
水利行业“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5170-4656-1

I. ①水… II. ①沈… III. ①水工建筑物—高等学校
—教材 IV. ①TV6

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第207787号

书 名	“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材 全国水利行业“十三五”规划教材 水工建筑物（第二版） SHUIGONG JIANZHUYU
作 者	沈长松 刘晓青 王润英 张继勋 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
规 格	184mm×260mm 16开本 43.25印张 1026千字
版 次	2008年3月第1版第1次印刷 2016年9月第2版 2016年9月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	78.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

第二版 前言

河海大学水利水电工程专业创建于1952年,是我国同类专业中建立最早、培养学生最多的专业,先后被评为河海大学品牌专业、江苏省品牌专业。“水工建筑物”是该专业的主干专业之一,现已建设成为国家精品课程。

我校历来重视本科教学改革和教材建设工作,为及时反映最新知识、技术和成果,先后出版过不同版本的《水工建筑物》。早在20世纪90年代,左东启、王世夏、林益才、董利川、沈长松、任旭华、张敬楼、金忠青、王德信、吕泰仁等在水工教研室多年来历届水工建筑物课程讲义、教材基础上,编写了《水工建筑物》(上、下册)由河海大学出版社出版;2008年3月,沈长松、王世夏、林益才、刘晓青为反映水工教学改革和水工科技发展,编著了《水工建筑物》合订版(以下简称08版,已多次重印),由中国水利水电出版社出版,并以此成功申报普通高等教育本科国家级规划教材(简称“十二五”规划教材)和全国水利行业规划教材。本次在章节安排和内容介绍上进行了修订,具有如下特点。

(1) 本书在08版教材基本框架基础上,对章节内容进行了调整,将水工结构上的作用(荷载)专列第二章论述;水力设计与体形有关,列入第三章先行讨论;将拱坝和支墩坝合并为一章;在有了各种坝型的知识后,对各种坝工技术及坝型的最新发展单独列章阐述(第七章),最后介绍了水工建筑物的安全监控和运行管理以及水工建筑物现代设计理论与方法。

(2) 本书既系统介绍了各种水工建筑物的工作原理、体型设计理论和方法、构造特点和适用条件,又介绍了水利枢纽布置的原则、影响因素以及各种水工建筑物之间的关系(第十四章)。

(3) 本书结合水工建筑物相关新规范的内容和要求进行了内容更新和补充。

(4) 本书体现了我校教学一线的授课教师多年教学经验和科研成果。除满足水利水电工程专业本科教学用书外,也可供专业科技人员阅读参考。

以上新版教材的内容安排顺序,不仅调整了沿用多年的原教材章节体系,

而且新章节分别讨论的问题是按其科技属性划分的，避免了不必要的重复；按新体系组织教学，既大致符合水工设计工作中“先设后计”的顺序，也较符合人们从宏观考察到细节深入的认识规律。

本书第一、四、五、七、十四章及第十六章的第三节由沈长松撰写；第二、九、十三章及第十六章的第一节由张继勋撰写；第三、十一、十二、十五章及第十六章的第四节由王润英撰写；第六、八、十章及第十六章的第五、六节由刘晓青撰写；第十六章的第二节由张继勋、王润英、刘晓青共同撰写。全部书稿经沈长松、刘晓青统稿审定后付印。

本书在编写过程中，参考了兄弟院校不同版本的水工建筑物教材和有关论著等，已在参考文献中列出，作者在此一并致谢。

限于作者水平，本书谬误、缺点和疏漏一定不少，敬请读者批评指正。意见请寄河海大学水电学院水工结构研究所，或发电子邮件至 hhuscs@126.com。

作 者

2015 年 12 月于河海大学清凉山校区

第一版 前言

本书为水利水电工程专业本科教学用书，也可供专业科技人员阅读参考。河海大学水利水电工程专业创建于1952年，是我国同类专业中建立最早、培养学生最多的专业之一，2002~2003年先后被评为河海大学品牌专业、江苏省品牌专业，“水工建筑物”是该专业的主干专业课之一。然而近十多年来，河海大学水工课程所用的教材仍是左东启、王世夏、林益才主编，河海大学出版社1995年7月出版的《水工建筑物》（上、下册），内容相对有过时之处；其次，原教材篇幅过大（分上、下两册），难以在计划课时内讲完；第三，作为水工建筑物教材编写人和现在或曾经在教学第一线的授课教师，深感从20世纪50年代起就一直沿用前苏联水工教材按各种典型建筑物逐一论述的章节体系，似有必要予以适当调整和改进，以求更好地适应当今大学生水工建筑物课程教学的实际需要。基于上述原因，故撰写较为精练的新教材。

本书作为新教材得已编写成功，自然源于我们多年教学经验和科研成果的积累。在1995~2000年五年间先后出版的三部书，直接成为新撰写本书的引用素材。这三部书是：①左东启、王世夏、林益才三人主编，河海大学出版社1995~1996年出版的《水工建筑物》（水工专业教材），全书十六章，执笔编写者有王世夏、林益才、董利川、沈长松、任旭华、张敬楼、金忠青、王德信、吕泰仁九人；②林益才主编，中国水利水电出版社1997年出版，已多次印刷的《水工建筑物》（水利类非水工专业教材），全书十二章，执笔编写者有林益才、沈长松、任德林、王世夏、张敬楼、陶栋修六人；③王世夏编著，中国水利水电出版社2000年出版的《水工设计的理论和方法》（水工科技专著），全书共八章，内容和章节体系新颖，得到水利水电系统科技人员和高校师生的好评，获2002年度教育部科技进步二等奖。特别是第三本书，凝聚了王世夏教授几十年来在水工水力学研究领域的成果。

基于对上述三书的扬长避短、推陈出新、删繁就简和补漏拾遗，新完稿的本书共分十五章。与原教材相比，本书分章标题所含内容及顺序已作了很大的改进；①设计方法既能与GB 50199—94《水利水电工程结构可靠度设计

统一标准》相衔接，又能兼容一些仍在执行中沿用安全系数法的水工结构设计规范；②将普遍性的设计理论和设计方法，包括结构可靠度设计、分项系数极限状态设计和结构优化设计等内容俱已充实到首章之中；③将水工结构上的作用（荷载）专列第二章论述；④考虑到水工建筑物设计都与水有关，而优良的水工设计通常首先要解决的也是体形布置的水力设计问题，为此将各种水头下各种泄水建筑物设计所应解决的问题以全书篇幅最大的第三章先行讨论；⑤有了前三章之后，第四至第十五章内容就可避免各章之间的重复而着重论述各章自有的特色问题，小到结构和细部构造的设计，大到建筑物和水利枢纽的整体布置与安全运行，尽在其中。以上新教材的内容安排顺序，不仅调整了沿用多年的原教材章节体系，而且新章节分别讨论的问题是按其科技属性划分的，避免了不必要的重复；按新体系组织教学，既大致符合水工设计工作中“先设后计”的顺序，也较符合人们从宏观考察到细节深入的认识规律。

本书各章分工负责撰写者如下：第一、二、三、八、九、十三章由王世夏撰写；第四、十二、十四章由林益才撰写；第五、六、七、十一、十五章由沈长松撰写；第十章由刘晓青撰写。全书经沈长松、王世夏、林益才统编审定。

本教材在组织撰写和审稿过程中得到唐洪武教授、胡明教授和水工教研组教师的大力支持与热情帮助，刘忆、张晓悦、吝江峰、陈建龙等也参加了本教材的文字录入与图片处理工作，特向他们深致谢意。

本教材在编写过程中，参考了兄弟院校不同版本的水工建筑物教材和有关论著等，已在参考文献中列出，作者在此一并致谢。

限于作者水平，本书不可避免地存在一些缺点和疏漏，敬请读者批评指正。

作 者

2007年10月于河海大学

目 录

第二版 前言

第一版 前言

第一章 总论	1
第一节 我国的水资源与水利建设	1
第二节 水工建筑物分类、特点及发展	2
第三节 水利枢纽与水工建筑物的等级划分	11
第四节 河川水利枢纽对环境的影响	12
第五节 本课程的特点和水工科技问题的研究途径	13
复习思考题	14
第二章 水工结构上的作用	15
第一节 作用分类和作用效应组合	15
第二节 自重和水压力	15
第三节 扬压力	20
第四节 土压力和淤沙压力	24
第五节 波浪与浪压力	28
第六节 冰压力	35
第七节 混凝土结构所受的温度作用	37
第八节 地震作用	43
第九节 风荷载和雪荷载	49
第十节 地应力	49
复习思考题	50
第三章 水工建筑物的水力设计	51
第一节 堰坝水流和堰型	51
第二节 泄水建筑物下游消能防冲	60
第三节 深式泄水孔洞的水力设计	90
第四节 冲击波和陡槽水力特性	98
第五节 高速水流边壁的蚀损和防蚀设计	104
复习思考题	119

第四章 岩基上的重力坝	120
第一节 概述	120
第二节 重力坝的稳定分析	126
第三节 重力坝的应力分析	135
第四节 重力坝的剖面设计与结构布置	150
第五节 重力坝的材料和构造	162
第六节 重力坝的地基处理	175
第七节 宽缝重力坝与空腹重力坝	180
第八节 碾压混凝土重力坝	184
复习思考题	189
第五章 拱坝及支墩坝	190
第一节 概述	190
第二节 拱坝布置	203
第三节 拱坝应力分析	210
第四节 拱座稳定分析	226
第五节 拱坝的材料、构造及地基处理	234
第六节 支墩坝	239
复习思考题	254
第六章 土石坝	256
第一节 概述	256
第二节 土石坝的剖面和基本构造	262
第三节 土石坝的筑坝材料	270
第四节 土石坝的渗流分析	274
第五节 土石坝的稳定分析	282
第六节 土石坝应力应变分析	289
第七节 土石坝的裂缝及其控制	297
第八节 土石坝的地基处理	302
复习思考题	311
第七章 坝工技术及坝型发展	312
第一节 混凝土坝坝工技术及坝型发展	312
第二节 土石坝坝工技术坝型发展	319
第三节 胶凝砂砾石坝及堆石混凝土坝	338
复习思考题	339
第八章 河岸溢洪道	340
第一节 概述	340
第二节 正槽溢洪道	341

第三节 侧槽溢洪道	352
第四节 其他形式的溢洪道	356
复习思考题	359
第九章 水工隧洞	361
第一节 概述	361
第二节 水工隧洞的选线与总体布置	362
第三节 水工隧洞的进口段	366
第四节 水工隧洞的洞身段	371
第五节 水工隧洞的出口段	376
第六节 水工隧洞围岩应力分布和稳定性判别	378
第七节 水工隧洞衬砌受力分析	385
第八节 水工隧洞衬砌结构计算	388
第九节 无衬砌隧洞和围岩的喷锚支护	403
复习思考题	409
第十章 土基上的闸坝	410
第一节 水闸概述	410
第二节 水闸的孔口设计	413
第三节 水闸的消能防冲设计	415
第四节 闸基渗流分析与防渗设施	420
第五节 闸室布置与构造	431
第六节 闸室的稳定分析	436
第七节 闸室结构计算	440
第八节 水闸与两岸连接结构设计与计算	450
第九节 水闸地基处理	457
第十节 自动翻倒闸	460
第十一节 软基上的混凝土溢流坝	464
第十二节 橡胶坝	467
复习思考题	470
第十一章 水工闸（阀）门	471
第一节 概述	471
第二节 平面闸门	475
第三节 弧形闸门	480
第四节 闸门的止水	483
第五节 闸门的启闭力和启闭设备	486
第六节 阀门	491
复习思考题	494

第十二章 过坝建筑物	495
第一节 船闸	495
第二节 升船机	510
第三节 过木建筑物	518
第四节 过鱼建筑物	521
复习思考题	527
第十三章 渠首和渠系建筑物	528
第一节 取水河段的床沙运动和冲淤平衡	528
第二节 无坝取水渠首	532
第三节 有坝取水渠首	535
第四节 渠道及其上建筑物	543
第五节 渠系建筑物的运行及管理	555
复习思考题	556
第十四章 水利枢纽设计阶段划分及其布置	557
第一节 水利枢纽的设计阶段划分	557
第二节 水利枢纽布置	560
第三节 水利枢纽布置实例	568
复习思考题	574
第十五章 水工建筑物的运行管理及安全监控	575
第一节 水工建筑物运行管理	575
第二节 水工建筑物的养护与维修	581
第三节 水工建筑物安全监控	586
复习思考题	606
第十六章 水工建筑物现代设计理论与方法	607
第一节 水工分析计算常用数学物理方程及数值计算方法	607
第二节 水工结构数值计算概述	622
第三节 水工建筑物动力分析	645
第四节 水工水力学数值计算	654
第五节 三维数字化(3D)设计及其在水电行业中的应用.....	667
第六节 水工建筑物反馈设计	673
复习思考题	676
参考文献	677

第一节 我国的水资源与水利建设

一、水资源

存在于大自然中的水是一种重要的资源，是生命和工农业生产的必需物质。它是发展航运交通以及水产事业必要的介质，还为改善环境和发展旅游事业创造了必要的条件。总而言之，水是基础性的自然资源和战略性的经济资源，是生命之源、生产之要和生态之基。在自然循环过程中，与煤炭、石油和森林等资源相比，水资源还是一种可再生的重要能源。

地球上的总水量很大，约为 13.86 亿 km^3 ，绝大部分是海洋中的咸水，其中通过大气循环，以降水、径流方式在陆地运行的淡水相对较少，只占 2.5% 。全球年径流总量为 4.7×10^5 亿 m^3 ，按全球人口计，人均约为 9000m^3 ，这是最重要的一部分水，但这部分水在时间和空间上的分布极不均匀。我国幅员辽阔，河流也不少（流域面积超过 1000km^2 的大河有 2221 条），年径流总量约 2.78×10^4 亿 m^3 ，而按人口平均，不及全球平均数的 $1/4$ 。所以，从人均意义上说，我国的水资源并不丰富。而降水、径流在时间和地域上的分布也很不均衡。不同地区之间，南方一日雨量可远超过西北全年降水量，同一地区，一次暴雨可超过多年平均年降水量，这就导致我国各地历史上洪、涝、旱灾频发。由此可见，大力治水，根除水旱灾害，充分开发利用珍贵的水资源是何等重要！

虽然我国水的人均拥有量不多，但由于从青藏高原到海平面之间的巨大落差，我国可用于发电的水能资源却十分丰富。全国水能理论蕴藏量达 6.94 亿 kW ，其中可开发的达 5.42 亿 kW ，年发电量可达 17534 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 以上，这些数字均居世界首位，因此，利用我国这一优势，大搞水力发电，对解决能源问题具有重要的决定性意义。

二、水利建设

远古以来，我国人民曾为治理水患、开发水利，进行过长期的英勇奋斗，取得了辉煌的业绩。至今还有一些纪元前修建的水利工程在为我们服务。如战国时期秦国蜀郡太守李冰主持修建的岷江都江堰分洪灌溉工程，一直是成都平原农业稳产高产的保证，堪称中华民族的骄傲之一。但由于长期封建统治，特别是 19 世纪中叶以来半封建半殖民地的社会形态，人民群众的力量与智慧受到压抑，生产力低下，科学技术落后，水利设施失修，灾患频仍，水利事业处于停滞状态。例如 1928 年遍及全国的旱灾，灾民人数占当时全国人口的 $1/4$ ；1931 年、1933 年、1935 年、1939 年，江、淮、黄、汉及海河的洪灾，也都使人民生命财产蒙受了极大的损失。

中华人民共和国成立后，我国的水利建设有了较大的发展。经过 60 多年的努力，全国整修和兴建了约 27 万 km 的堤防；普遍疏浚整治了排水河道，开辟了海河和淮河的排

洪通道；兴建了 98002 座水库，面积 10000 亩^①以上的灌区 2500 多处；水电站装机容量从 1949 年的 16.3 万 kW 发展到 2015 年底的 3.19 亿 kW；灌溉面积从 2.4 亿亩增至 7 亿亩以上，3.4 亿亩的易涝耕地中有 2/3 得到了初步治理，1.1 亿亩盐碱地已改良 1/2 以上；为城市、工业供水及农牧区人、畜饮水提供了相当数量的水源；为工农业生产和人民生活提供了电能及其他综合利用效益。

尽管如此，水利建设尚不能满足现代化建设的要求。首先，我国大江大河的防洪问题还没有真正解决，许多中小河流也未根治，随着河流两岸经济建设的发展，一旦发生洪灾，造成的损失将越来越大。第二，我国农业目前仍在很大程度上受制于自然地理和气候条件，如不进一步大修水利以提高抗御自然灾害的能力，很难实现逐年增产。第三，工业和城市用水增长速度比农业更快，有些沿海城市已出现淡水供应困难，水利建设不加快，水源紧缺将日益成为限制我国生产和生活提高的重大障碍。第四，我国丰富的水能资源已开发量占可开发量的比例还较低，与世界上一些发达国家相比，仍有差距。由于水能资源是一种清洁的可再生能源，且未开发前又是不可蓄积的能源，故世界各工业化国家都优先开发水电，我国也理当如此。

值得指出的是，目前在某些水利大国出现了一些妨碍和阻止加强水利建设的非常片面的观点与论调，最突出的是以保护水环境为由来反对开发利用水能资源。这种论点的片面性是把水利建设和环境保护完全对立起来。实际上，水环境保护应是水利建设的组成部分，国内外由于水利建设事业的进展，合理开发利用水资源的同时大大改善了当地水环境的工程实例比比皆是。当然，大型水利工程的兴建确实也会对水环境产生不利影响（参见本章第三节），但对此应取正确的态度，将保护和改善水环境问题作为水利科学技术问题之一进行研究。

第二节 水工建筑物分类、特点及发展

一、水工建筑物的基本概念

水工建筑物就是在水的静力或动力作用下工作，并与水发生相互影响的建筑物，它是水利工程中各种建筑的总称。对于开发河川水资源来说，常须在河流适当地段集中修建几种不同类型与功能的水工建筑物，它们既能各自发挥作用又能相互协调，便于运行和管理，称这一多种水工建筑物组成的综合体为水利枢纽。

水利枢纽的规划、设计、施工和运行管理应尽量遵循综合利用水资源的原则。为实现多种目标而兴建的水利枢纽，建成后能满足国民经济不同部门的需要，称为综合利用水利枢纽；以某一单项目标为主而兴建的水利枢纽，虽然同时可能还有其他综合利用效益，则常冠以主要目标之名，例如防洪枢纽、水力发电枢纽、航运枢纽、取水枢纽等。水利枢纽随修建地点的地理条件不同，有山区、丘陵区水利枢纽和平原、滨海地区水利枢纽之分；随枢纽上下游水位差的不同，有高、中、低水头之分，一般以水头 70m 以上者为高水头枢纽，30~70m 者为中水头枢纽，30m 以下者为低水头枢纽。

① 1 亩 = 666.7 m²

因自然因素、开发目标的不同，水利枢纽的组成建筑物可以是各式各样的。图 1-1 为黄河干流上以发电为主，兼有防洪、灌溉等综合利用效益的龙羊峡水力发电枢纽平面布置图。其主要建筑物包括：

(1) 拦河坝。由拱坝（主坝）、左右重力墩（即重力坝）以及左右岸副坝组成，主坝从坝基最低开挖高程 2432m 至坝顶高程 2610m，最大坝高 178m，从而使上游可形成一个总库容达 247 亿 m^3 的水库。

(2) 溢洪道。位于右岸，溢流堰顶高程为 2585.5m，设 2 孔，每孔净宽 12m，弧形闸门控制。

(3) 左泄水中孔。穿过主坝 6 号坝段，进口底部高程 2540m，出口设 8m×9m 弧形闸门控制，与溢洪道共同承担主要泄洪任务。

(4) 右泄水深孔和底孔。分别穿过主坝 12 号和 11 号坝段，进口底部高程分别为 2505m 和 2480m，主要用于枢纽初期蓄水时向下游供水、泄洪以及后期必要时放空水库和排沙。

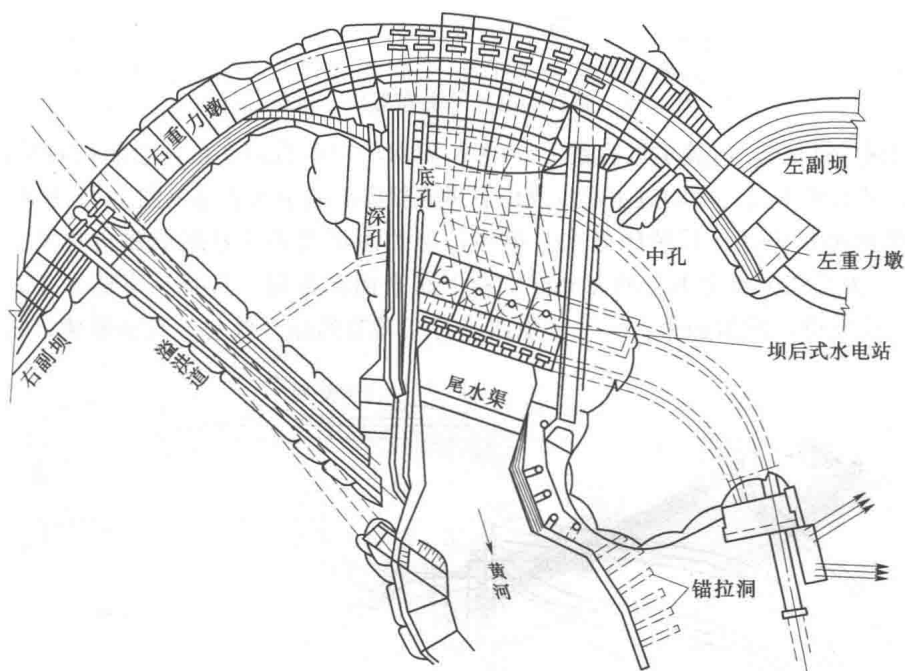


图 1-1 龙羊峡水电站平面布置图

(5) 坝后式水电站。4 台单机容量 32 万 kW 的水轮发电机组，总装机容量 128 万 kW。

图 1-2 为甘肃省白龙江碧口水电站，其组成包括以下建筑物。

(1) 心墙土石坝。最大坝高 101m，用以拦河壅水、蓄水，形成库容 5.16 亿 m^3 的水库。

(2) 溢洪道。用以宣泄水库多余洪水。

(3) 泄洪隧洞。左右岸各有一条，可与溢洪道共同承担泄洪任务，而且可在库水位较低时提前泄洪，其中右岸泄洪洞施工期兼作导流洞。

(4) 排沙隧洞。用以排除部分水库泥沙，延长水库寿命。

(5) 水电站引水建筑物。包括引水隧洞、调压井和压力钢管等。

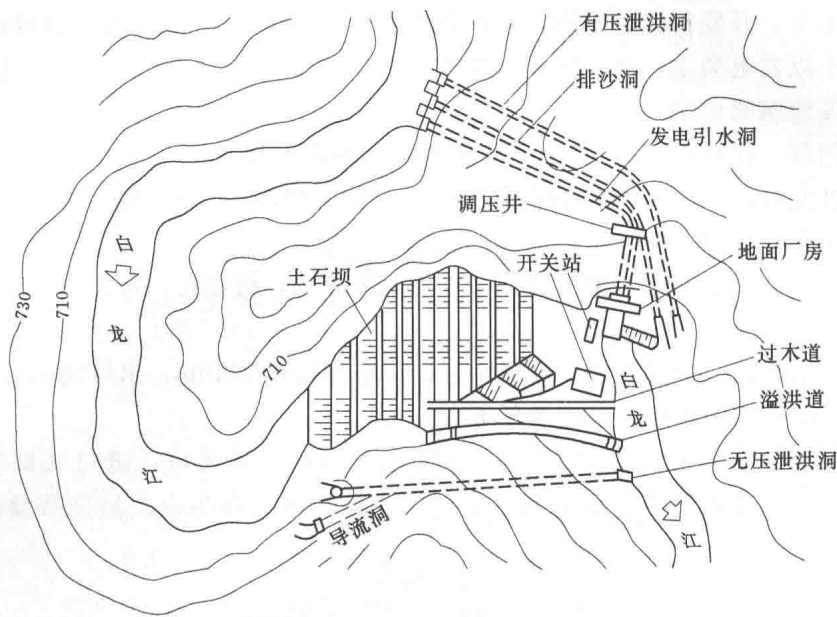


图 1-2 碧口水电站平面布置图（单位：m）

(6) 水电站厂房。内装单机容量 10 万 kW 的水轮发电机组 3 台，总装机容量 30 万 kW。此外，还有供木材过坝的过木道以及供右岸农田灌溉的引水管道（图 1-2 中未示出）等。以上两例都是山区、丘陵区高水头枢纽，但拦河坝及相应各组成建筑物差别很大。图 1-3 为长江干流上著名的葛洲坝水利枢纽平面布置图。这是一座低水头大流量的枢纽，兼有径流发电、航运和为上游三峡枢纽进行反调节的综合效益。其主要建筑物包括：

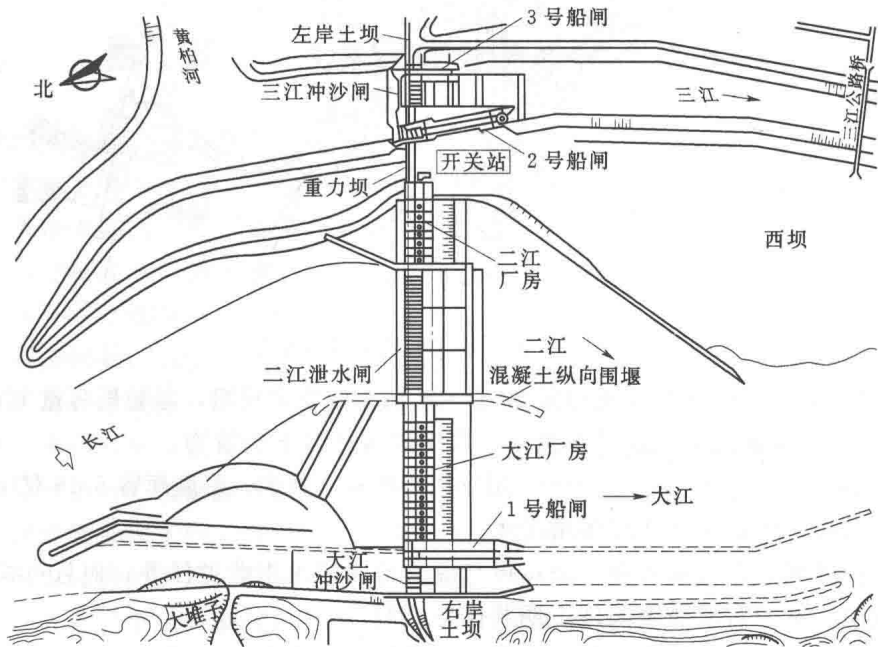


图 1-3 葛洲坝水利枢纽平面布置图

(1) 二江泄水闸。是枢纽控制水流的主要建筑物，共 27 孔，每孔净宽 12m，高 24m，弧形闸门控制，闭门时拦截江流，稳定上游水位（库容 15.8 亿 m^3 ，无调洪性能），开门时泄水，排沙防淤，满足河势要求，最大泄流量为 $83900\text{m}^3/\text{s}$ 。

(2) 船闸。共有 3 座，以保证长江航运，1 号船闸位于大江，2、3 号船闸位于三江。1、2 号船闸的闸室有效长度均为 280m，净宽 34m，槛上最小水深 5m，是我国目前最大的船闸。3 号船闸闸室有效长度为 120m，净宽 18m，槛上最小水深 3.5m。1、2 号船闸可通过 1.2 万~1.6 万 t 船队，一次过闸时间 51~57min；3 号船闸可通过 3000t 以下船队，一次过闸时间 40min。

(3) 河床式水电站。设计水头 18.6m，分设于泄水闸两侧，其中二江电厂装有单机容量 17 万 kW 的水轮发电机组 2 台和单机容量 12.5 万 kW 的机组 5 台，大江电厂装有单机容量 12.5 万 kW 的机组 14 台，水电站总装机容量 271.5 万 kW。厂房兼起挡水作用。

(4) 冲沙闸。分设于与主流分开后的两条独立人工航道上，其中三江航道设 6 孔，大江航道设 9 孔，采用“静水通航，动水冲沙”的运行方式，防止航道淤积。具体运行条件是：通航期间，航道内为静水；汛期、汛末及低水位期根据实际航道淤积情况，开闸拉沙、冲沙。实践表明效果良好。此外，在两个电厂的进水口前均设置了导沙坎，在厂房底部还设置了排沙底孔，进一步加强了防沙、排沙效果。

图 1-4 为当今世界最大的水利枢纽工程——长江三峡工程，该工程具有防洪、发电、航运等综合效益。

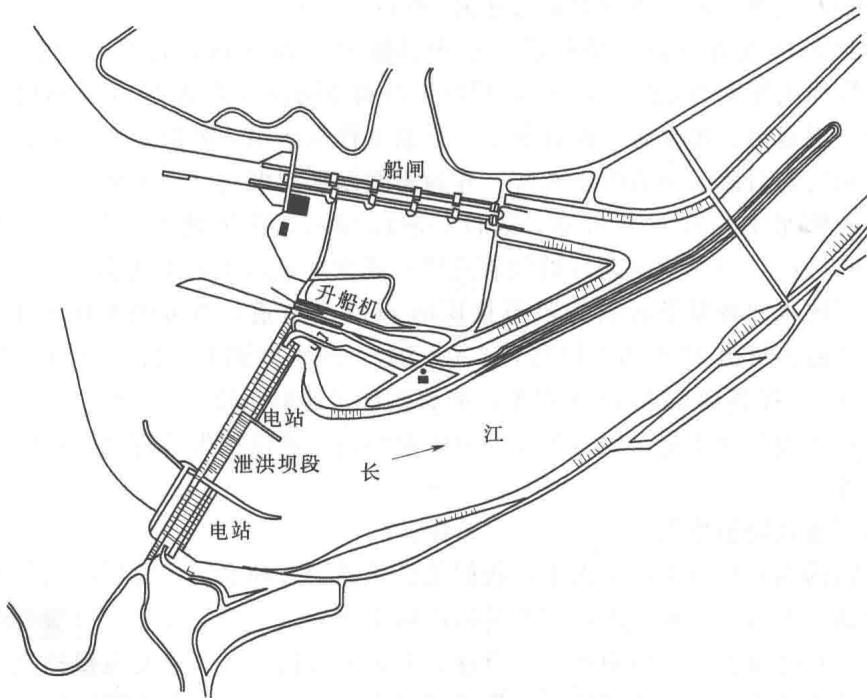


图 1-4 三峡工程枢纽布置图

三峡工程坝址位于宜昌市三斗坪，在已建成的葛洲坝水利枢纽上游约 40km。坝址基岩为坚硬完整的花岗岩。坝址处河谷较开阔，岸坡较平缓，江中有中堡岛顺江分布，这些

条件有利于大流量泄洪坝段、大容量电站坝段和大尺寸通航建筑物沿坝轴线并列布置与运行,且便于施工和分期导流。事实上,便于施工是选用三斗坪坝址(而非选用地质条件亦佳但有陡岸峡谷的其他坝址,如太平溪坝址)的最主要因素。不过也有专家认为,三斗坪这样的枢纽布置使大坝挡水前缘较其上、下游天然河谷还宽,可能导致以后运行中泥沙问题的复杂化,这有待实践的检验。

三峡枢纽的主要建筑物由大坝、水电站、通航建筑物三大部分组成。拦河大坝为混凝土重力坝,坝轴线全长 2309.47m,坝顶高程 185m,最大坝高 181m。大坝的泄洪坝段居河床中部,前缘总长 483m,共设有 23 个深孔和 22 个表孔。深孔每孔净宽 7m,高 9m,进口孔底高程 90m;表孔每孔净宽 8m,堰顶高程 158m,即总净宽 176m 的溢流重力坝,溢流坝的闸墩厚达 13m,因为深孔在其下部穿过。深孔在进口闸门控制段下游通过断面突扩成为无压孔,表孔和深孔都采用鼻坎挑流消能,全坝最大泄洪能力为 $11.6 \text{ 万 m}^3/\text{s}$ 。

水电站采用坝后式,分设左、右两组厂房。左岸厂房全长 643.6m,安装 14 台水轮发电机组;右岸厂房全长 584.2m,安装 12 台水轮发电机组。坝后 26 台机组均为单机容量 70 万 kW 的混流式水轮发电机,装机容量为 1820 万 kW,年平均发电量为 846.8 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。在右岸还设有 6 台 420 万 kW 的地下厂房,总装机容量为 2240 万 kW。

通航建筑物包括船闸和升船机。船闸为双线五级连续梯级船闸,单级闸室的有效尺寸为 $280\text{m} \times 34\text{m} \times 5\text{m}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 坎上水深),可通过万吨级船队。升船机为单线一级垂直提升式,承船厢有效尺寸为 $120\text{m} \times 18\text{m} \times 3.5\text{m}$,一次可通过一条 3000t 级的客货轮。施工期设一级临时船闸通航,闸室有效尺寸为 $240\text{m} \times 24\text{m} \times 4\text{m}$ 。

三峡枢纽的巨大效益首先是防洪。由于其地理位置优越,控制流域面积可达 100 万 km^2 ;水库防洪库容为 221.5 亿 m^3 ,可使荆江河段防洪标准从 10 年一遇提高到百年一遇;遇千年一遇或更大洪水时,配合分洪、蓄洪工程的运用,可防止荆江大堤溃决,减轻中下游洪灾损失和对武汉市的洪水威胁,并为洞庭湖区的根治创造条件。

其次,三峡水电站提供的可靠、廉价、清洁和可再生的能源,每年约可替代原煤 4000 万~5000 万 t,对其供电地区的经济发展和减少环境污染起重大作用。

第三,三峡水库将显著改善宜昌至重庆的 660km 航道,万吨级船队可上达重庆港,航道单向通过能力可由 1000 万 t 提高到 5000 万 t。经水库调节,宜昌下游枯水季最小流量可从 $3000\text{m}^3/\text{s}$ 提高到 $5000\text{m}^3/\text{s}$ 以上,显著改善了通航条件。

三峡水库也确有对环境、生态等不利影响和移民、淹没损失等问题。但权衡利弊,还是利远大于弊。

二、水工建筑物的分类

上面介绍的水利枢纽工程实例中,我们虽已提到了多种水工建筑物,但并未包括水工建筑物的全部。事实上,水利工程并不总是以集中兴建于一处的若干建筑物组成的水利枢纽来体现的,有时仅指一个单项水工建筑物,有时又可包括沿一条河流很长范围内或甚至很大面积区域内的许多水工建筑物。即使就河川水利枢纽而言,在不同河流以及河流不同部位所建的枢纽,其组成建筑物也千差万别。根据功用水工建筑物可分为挡水建筑物、泄水建筑物、输(引)水建筑物、取水建筑物、过坝建筑物、水电站建筑物和整治建筑物等,详见图 1-5。